



DOI: <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2025.11.17>

УДК: 697.947; 537.523.3; 661.94

17-я Международная конференция

«Газоразрядная плазма и ее применения»

Екатеринбург, Россия, 8-12 сентября 2025

ГЕНЕРАТОР ОЗОНА НА ОСНОВЕ ИМПУЛЬСНОГО КОРОННОГО РАЗРЯДА

А.С. Чепусов, С.Р. Корженевский, А.А. Комарский, А.В. Пономарев, О.Д. Красный

Институт электрофизики Уральского отделения Российской академии наук
620016, г. Екатеринбург, ул. Амундсена, д. 106

Статья поступила в редакцию 2 октября 2025 г.

Аннотация. Озон является аллотропной модификацией кислорода, обладающей уникальными окислительными свойствами. Он находит широкое применение в дезинфекции медицинских инструментов и одежды, в обработке сточных вод, обеззараживании продуктов в хранилищах, а также в технологических процессах в металлургии. Наиболее распространенными способами получения этого газа являются озонаторы на барьерном разряде. Но такая технология обладает рядом существенных недостатков, не позволяющих применять ее в крупнотоннажном промышленном производстве. Альтернативой является использование стримерных коронных разрядов. Авторами разработан генератор озона на импульсах коронного разряда с частотой следования до 300 Гц. Установка позволяет изменять электродную систему, параметры газового потока, электрические характеристики разряда, что дает возможность проводить широкий спектр исследований особенностей генерации озона для промышленного применения. Проведенные эксперименты позволяют выделить

2 режима работы: с максимальной концентрацией в потоке и с наилучшей производительностью озона. Понятной зависимости от напряженности электрического поля выявлено не было. Это связано с необходимостью проведения расчетов микроскопической напряженности у поверхности катода. При большой плотности энергии, вложенной обрабатываемый воздух коронным разрядом, происходит его переход в искровую стадию, в результате чего генерация озона прекращается. Возможным путем решения этой проблемы и повышения производительности установки является использование оборудования с большей скоростью прокачки воздуха через рабочий объем и повышение частоты следования высоковольтных импульсов.

Ключевые слова: озон, генератор озона, коронный разряд, газовый реактор, генератор наносекундных импульсов высокого напряжения, твердотельная система коммутации.

Автор для переписки: Чепусов Александр Сергеевич, chepusov@iep.uran.ru

Введение

Озон – это аллотропная модификация кислорода, трехатомная молекула O_3 , уникальный газ, обладающий мощными окислительными свойствами. Благодаря этому он находит применение в самых разных сферах: от очистки воды и воздуха до дезинфекции помещений и медицинских процедур, а также участвует в технологических процессах химической и металлургической промышленности. В металлургии озон находит применение в процессах извлечения цветных, редких и благородных металлов из руд, концентратов обогащения и техногенного сырья, позволяет растворять даже упорные металлы и минералы [1]. К тому же озон экологичен с точки зрения утилизации: он легко диссоциирует на молекулярный или атомарный кислород и не загрязняет окружающую среду. Озон широко применяется как сильный, универсальный окислитель в химическом производстве, в очистных комплексах, для дезинфекции воды, устранения запахов, в реакциях извлечения золота и серебра из руд, при создании полупроводников, жидких кристаллов, сверхпроводников

и ферромагнитных пленок, при лечении и стерилизации медицинских инструментов, при хранении сельскохозяйственных продуктов, устранении пестицидов и т.д. [2-6].

Получение озона возможно различными способами: электролиз, химические реакции с пероксидом водорода H_2O_2 , ультрафиолетовое озонирование. Но такие методы характеризуются высокой стоимостью из-за использования различных реагентов, а также низкой производительностью, достаточной только для лабораторных условий. Последний фактор особенно критичен, т.к. для дезинфекции одежды и инструмента в медицинских учреждениях требуется производство озона в больших объемах.

Наиболее производительными являются газоразрядные методики, среди которых самой распространенной являются генераторы озона на барьерном разряде [7-9]. Основным его преимуществом является высокая относительная дешевизна производства озона: типичные затраты энергии находятся на уровне 15-20 Вт·ч/г, что позволяет создавать озонаторы для дезинфекции одежды и инструментов в медицинских учреждениях. Применение озона в этом направлении привлекательно, т.к. в отличие от других химических воздействий не вызывает раздражения, аллергических реакций кожи [3], обладает высокой скоростью воздействия на микроорганизмы, уничтожает практически все виды вредоносных бактерий, вирусов и грибков [10]. Но озонаторы на барьерном разряде сложно применять для крупнотоннажного промышленного производства, где требуется производить более десяти килограммов озона в час. Это связано со следующими факторами:

– диэлектрический барьер загрязняется продуктами диссоциации молекул в газовом потоке, что вызывает локальный перегрев, искажение геометрии электродов и, как следствие, либо неравномерность горения разряда (что существенно снижает характеристики озонатора), либо к выходу прибора из строя в результате пробоя материала барьера. По этой причине в источниках озона на барьерных разрядах предъявляются высокие требования к чистоте обрабатываемого газа. Для решения данной проблемы используется чистый

кислород, или устанавливается система очистки и фильтрации. Такой подход усложняет систему в целом, а также существенно увеличивает итоговую стоимость установки;

- на поверхности диэлектрического барьера накапливается избыточный заряд, что приводит к падению эффективности генерации озона и деградации диэлектрика. Для нейтрализации этого заряда необходим импульс противоположной полярности. В связи с этим в озонаторах на барьерном разряде используются высоковольтные генераторы двуполярных импульсов, причем в генерации озона принимает участие только одна полуволна. Таким образом, эффективность использования электрической энергии достаточно невысокая;

- сложная технология изготовления элементов озонатора. Для горения разряда зазор между электродами, в т.ч. с учетом диэлектрического слоя, составляет от долей до единиц миллиметров. Эта величина должна поддерживаться вдоль всей разрядной ячейки (обычно это коаксиальная система «стержень на оси цилиндра», со стеклянным барьером длиной 1,5–2 м), что является нетривиальной технологической задачей;

- из-за малой величины межэлектродного зазора такая система обладает высоким гидросопротивлением газового тракта, что серьезно ограничивает производительность устройства [2];

- типовая производительность единичного элемента озонатора (трубки) составляет 30 г/ч, в результате в озонаторе производительностью 15,5 кг содержится более 500 трубок (диаметром 4 см, длиной 2 м каждая), что, с учетом вышесказанного, делает озонаторы большой производительности уникальными электрофизическими установками с невысокой надежностью электродной системы.

Альтернативой барьерным разрядам для применения озонаторов в промышленности являются генераторы озона на коронном разряде [11, 12]. Их достоинствами являются простота изготовления, малая чувствительность характеристик разряда к наличию в газе пыли и других загрязнителей, низкое гидросопротивление газового тракта, применение однополярных импульсов,

высокая надежность электродной системы, возможность инициировать химические процессы в больших объемах [2]. Скорость воздухообмена в коронных озонаторах составляет десятки кубических метров в час, в то время как типичные конструкции источников озона на барьерных разрядах (например, в [9, 11-13]) обрабатывают лишь до 2,5 м³/ч газа. Долговечность электродной системы и возможность прокачивать большие объемы воздуха делают перспективным использование озонаторов на основе коронных разрядов в промышленных установках большой мощности. В связи с этим разработка и оптимизация характеристик генераторов озона на коронном разряде является важной прикладной задачей. Подобные работы по поиску наилучшей конфигурации газового реактора представлены в [14]. Здесь использован реактор аналогичной конструкции, с высоковольтным источником с твердотельной системой коммутации (хоть и на нетипично низких частотах), но и имеются отличия, которые будут рассмотрены далее. Данная статья является начальным этапом комплекса работ, посвященных разработке мощного генератора озона, способного обрабатывать большое количество газа, обладающего производительностью более 10 кг/ч, и представляет исследовательскую установку, позволяющую изменять и анализировать влияние различных параметров на производительность озонатора, а также первые полученные на ней результаты.

1. Конструкция реактора озона

Авторами разработан генератор озона на коронном разряде, блок-схема которого представлена на рис. 1. Он состоит из 2 основных частей: газового реактора и источника импульсов напряжения (1). Разрядная камера представляет собой металлическую трубу (2) с внутренним диаметром 200 мм, длиной 1 м. В ней выполнено смотровое окно, позволяющее вести визуальное наблюдение процессов, происходящих в камере, контролировать работоспособность установки. На оси цилиндрического корпуса расположен катод (3). Воздушный поток в реакторе создается воздуходувкой Erstvac EVL15/8 (4). Измерение

концентрации озона осуществляется с помощью прибора «Медозон-254/5» (5). Этот газоанализатор представляет собой стационарный автоматический прибор циклического действия, конструктивно выполненный в одном блоке, с индикацией результатов измерений массовой концентрации озона непосредственно на цифровом дисплее. Принцип действия устройства заключается в фотометрическом определении озона по собственной полосе поглощения на длине волны 253,7 нм. По сути, он представляет собой однолучевой фотометр, в котором функцию второго канала выполняет источник опорного сигнала. Измерения, полученные на данном приборе, сравнивались с показаниями спектрофотометра Analytik Jena Specord 200 и продемонстрировали хорошее соответствие.

Разрядная система состоит из 2 электродов: катода (3), на который подается положительный импульс напряжения и заземленного анода, роль которого выполняет наружная труба (2) реактора. Катодная система представляет собой медную проволоку диаметром 0,5 мм, намотанную по спирали на стеклянную кварцевую трубку диаметром 30 мм. Такая конструкция создает благоприятные условия для коронного разряда за счет, большой кривизны и, как следствие, усиления электрического поля. Намотка катодной нити по спирали увеличивает длину электрода, вдоль которой могут возникать стримеры газовых разрядов, где как раз и происходят реакции генерации озона, что должно приводить к более эффективному извлечению озона из воздуха. Известно, что стримерный, коронный разряд создает, в том числе, и поток ультрафиолетового излучения. Это является дополнительным фактором, способствующим преобразованию кислорода в трехатомную молекулу. Применение кварцевого стекла в качестве оснастки для катодной спирали позволяет по максимуму использовать эффект ионизации воздуха ультрафиолетом: излучение распространяется во все стороны, т.е. практически в 4 π -геометрию, без ограничения материалом оснастки.

Конструкция газового реактора устроена таким образом, что возможно варьировать межэлектродный зазор и исследовать влияние величины

напряженности электрического поля на эффективность генерации озона. Это реализуется за счет установки внутренних труб (6) с диаметрами 145 и 115 мм, что уменьшает расстояние между катодом и анодом на 30 и 50 % соответственно. Электрический контакт вставленных труб осуществляется за счет упругих металлических распорок. Для подключения источника воздушного потока в торцевом фланце реактора установлены газовые вентили со штуцерами, расположенные вблизи поверхности анода.

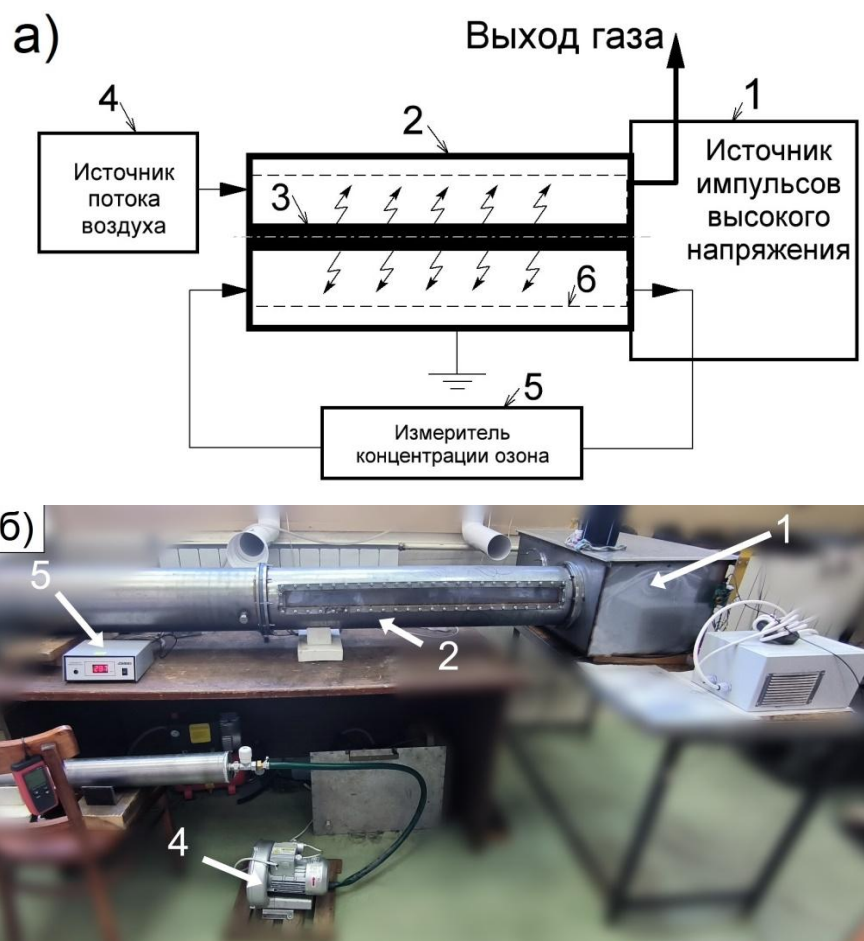


Рис. 1. Блок-схема (а) и фотография (б) генератора озона: 1 – источник импульсов высокого напряжения; 2 – анод-корпус газового реактора; 3 – катод; 4 – источник потока воздуха Erstvac EVL 15/8; 5 – измеритель концентрации озона; 6 – трубы-вставки для изменения наружного диаметра реактора.

2. Источник импульсов высокого напряжения

Вторым основным элементом разработанной установки является источник высоковольтных импульсов. Для проведения комплекса исследований выбрана положительная полярность импульсов, т.к. в этом случае конфигурация развивающегося разряда способствует наилучшей ионизации молекул кислорода электронным ударом и, как следствие, увеличению эффективности конверсии газа в озон. Этот результат наблюдается и других групп разработчиков генератора озона, в том числе на основе барьерного разряда [13, 15].

Сам генератор импульсов высокого напряжения построен по схеме магнитного компрессора с индуктивным накопителем энергии с твердотельным прерывателем тока [16]. Первичный каскад – емкостной накопитель с тиристорным ключом. Далее следуют несколько звеньев компрессии длительности импульса на магнитных ключах; выходной контур построен по схеме индуктивного накопителя энергии с твердотельным прерывателем тока SOS-диодом [16]. Блок-схема импульсного генератора представлена на рис. 2.

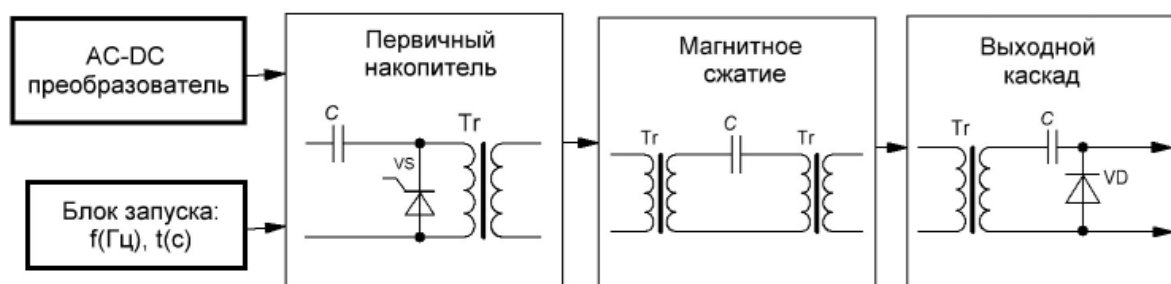


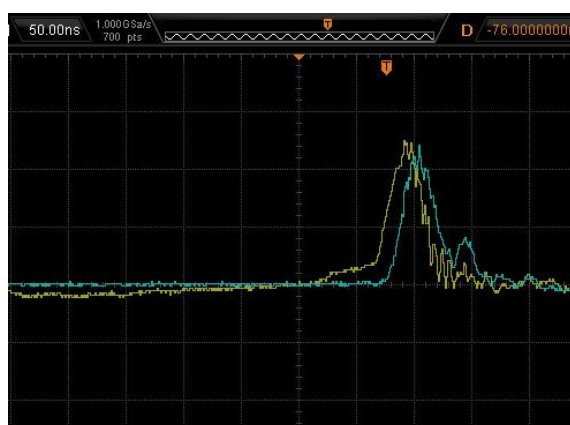
Рис. 2. Блок-схема генератора импульсов высокого напряжения. Отдельным блоком выполнен источник питания импульсной схемы.

Он выполняет преобразование трехфазного переменного напряжения в постоянное, которое заряжает первичный емкостной накопитель энергии. С использованием методики [16] этот модуль позволяет регулировать зарядное напряжение в диапазоне 200–300 В, что соответствует амплитудам выходного импульса 120–200 кВ. Это отражается на величине энергии импульса, выделяемой в разряде, которая при такой регулировке изменяется от 1,2 до 2,5 Дж. Данные величины получены за счет оценки энергии, передаваемой между электрическими контурами генератора из емкостных накопителей. Связь

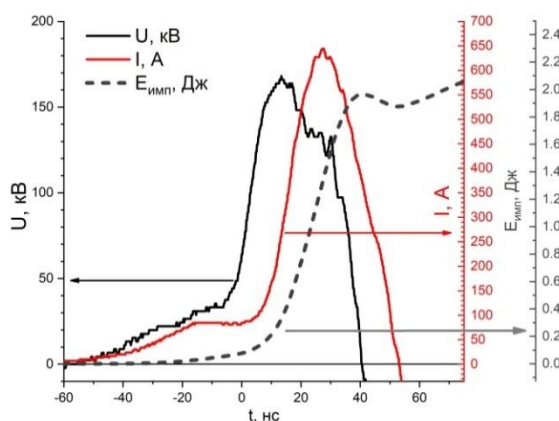
выходного напряжения генератора и энергии в импульсе отражена в табл. 1. Это совпадает с энергией в разряде, рассчитанной по осциллограммам тока и напряжения. Типичные осциллограммы единичного импульса разряда приведены на рис. 3а. Напряжение измерено с помощью резистивного делителя, а ток – резистивного шунта 0,03 Ом, собранного из 30 параллельно соединенных резисторов ТВО. Рис. 3б иллюстрирует усредненные по 64 импульсам кривые импульсов тока и напряжения, а также вычисленную величину энергии в импульсе. Длительность импульсов на полувывсоте, генерируемая таким источником составляет порядка 40 нс, частота следования импульсов составляет сотни герц.

Таблица 1. Энергии электрического импульса при различных выходных напряжениях.

U, кВ	E _{имп} , Дж
126	1,33
153	1,72
175	2,03
195	2,36



а)



б)

Рис. 3. Типичные осциллограммы: а – тока и напряжения; б – усредненные по 64 импульсам осциллограммы тока и напряжения, а также вычисленная энергия в импульсе.

Блок запуска генерирует пачку сигналов для открытия импульсного тиристора в первичном контуре. Учитывая все возможные регулировки,

доступные в установке, данный исследовательский комплекс позволяет изучать зависимости концентрации озона от

- частоты следования импульсов коронного разряда,
- времени работы генератора,
- амплитуды высоковольтных импульсов (т.е. энергии в разряде),
- напряженности электрического поля в межэлектродном зазоре,
- скорости потока воздуха,
- объема газового реактора,
- количества реакторов, подключенных к генератору высоковольтных импульсов параллельно.

3. Методика исследований

Измерения во время экспериментов проведены посредством регистрации концентрации озона после 3 минут работы генератора. Этого времени достаточно для выхода установки на устойчивый режим работы: оно в несколько раз превышает самый длительный период прокачки рабочего объема.

В основе методики исследований лежит измерение зависимостей выхода (концентрации) озона от частоты следования импульсов ($n\text{-O}_3(f)$) в различных конфигурациях: варьируются межэлектродное расстояние, амплитуда импульсов напряжения, скорость прокачки воздуха через объем реактора. Блок-схема, иллюстрирующая схему проведения экспериментов, представлена на рис. 4. Для записи зависимостей концентрации выбраны значения частот 25, 50, 100, 150, 200, 250 и 300 Гц.

Сначала серии $n\text{-O}_3(f)$ регистрируются при работе газового реактора при прохождении через рабочий объем $20 \text{ м}^3/\text{ч}$ воздуха и работе высоковольтного генератора с амплитудами импульсов 126, 153, 175 и 195 кВ. Далее скорость потока воздуха уменьшается до 14 и $7 \text{ м}^3/\text{ч}$. Аналогичные стадии проведены при установке дополнительных вставок в трубу-реактор, уменьшающих зазор между катодом и анодом. В табл. 2 представлены рассчитанные характеристики для разрядной камеры, соответствующие различным этапам исследования.

Таблица 2. Конфигурация системы на различных этапах исследования.

Параметр	1 этап	2 этап	3 этап
Межэлектродный зазор, мм	85	57,5	42,5
Сечение реактора, см ²	307	158	97
Скорость воздушного потока в реакторе при $dV/dt = 5,6$ л/с, м/с	0,18	0,35	0,58
Скорость воздушного потока в реакторе при $dV/dt = 3,9$ л/с, м/с	0,12	0,24	0,4
Скорость воздушного потока в реакторе при $dV/dt = 1,9$ л/с, м/с	0,06	0,12	0,2
Напряженность электрического поля, кВ/мм			
при $U_{\max} = 126$ кВ	1,5	2,2	3
при $U_{\max} = 153$ кВ	1,8	2,7	3,6
при $U_{\max} = 175$ кВ	2,1	3	4,1
при $U_{\max} = 195$ кВ	2,3	3,4	4,6

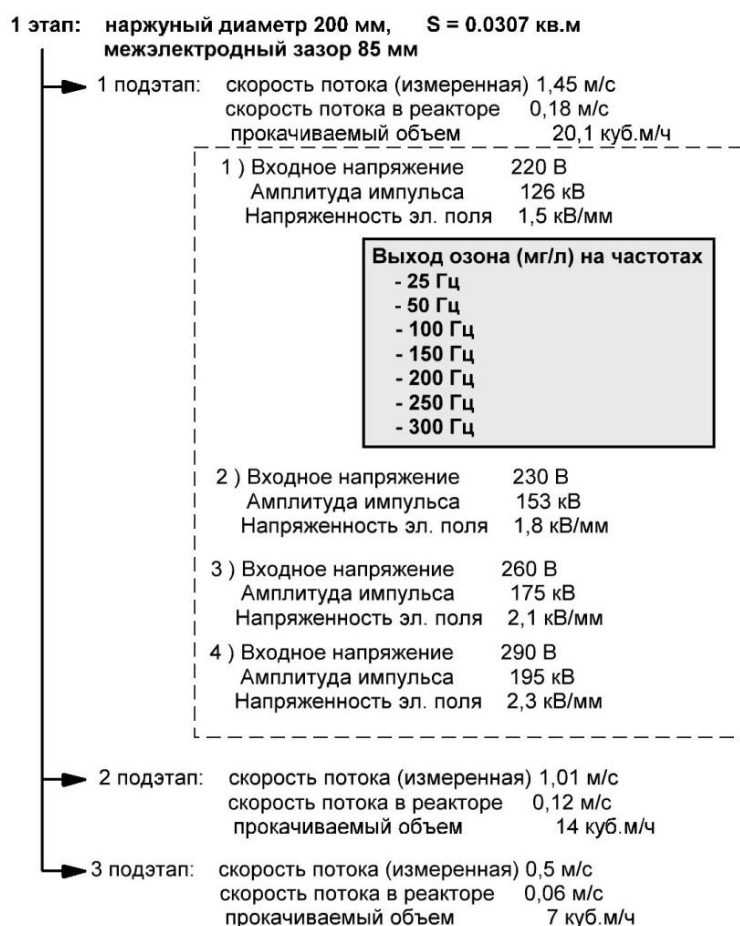


Рис. 4. Блок схема экспериментальной методики.

4. Результаты экспериментов

На рис. 5а представлены типичные зависимости концентрации озона от частоты следования импульсов генератора, полученные в ходе исследований. С целью проведения сравнительного анализа приведены результаты для эксперимента с реактором без внутренних вставок (т.е. межэлектродный зазор 85 мм), для наборов данных при скоростях потока воздуха 5,6 и 1,9 л/с. Для кривых характерна линейная зависимость концентрации от частоты до 150 Гц. Далее линия асимптотически стремится к уровню насыщения.

Также обнаружено, что при большой мощности энергии, вложенной в коронный разряд на этапах с большим напряжением и малой скоростью потока воздуха, разряд переходит в искровую стадию, что приводит к значительному снижению эффективности генерации озона вплоть до ее полного прекращения. Переход коронного разряда в искру реализуется посредством увеличения напряженности электрического поля в реакторе как за счет уменьшения расстояния между электродами, так и повышения напряжения между ними. Данный факт объясняется тем, что конкуренция процессов генерации и уничтожения озона в разряде смещается в сторону разложения окисляющего газа, а также дополнительным разогревом газа в камере. Проведем оценку, для которой используем следующие данные: частота 250 Гц, энергия в импульсе 2 Дж (т.е. вкладываемая мощность 500 Вт), скорость потока воздуха 20 м³/ч (т.е. 0,18 м/с). Получаем, что в объем газа за время прохождения через реактор 5,6 с вкладывается энергия 2,8 кДж. Принимая теплоемкость воздуха 1 кДж/(кг·К), а его плотность 1,225 кг/м³ (при объеме реактора 30 л имеем 37 г), получаем нагрев $\Delta t = E/(c \cdot m) = 2800/(1000 \cdot 0,037) = 76$ (°C). Таким образом, воздух в реакторе может разогреваться практически до 100°C. А при такой температуре существенно возрастает скорость реакции диссоциации озона. В связи с этим температурный режим также необходимо учитывать при разработке озонатора.

Наилучшие результаты: величины концентрации озона 3,6 и 3,3 мг/л – достигнуты при работе генератора при скорости воздушного потока 1,9 л/с, амплитудах импульсов напряжения 195 и 175 кВ, при межэлектродных зазорах 85 и 57,5 мм соответственно. Этот результат более чем в 3 раза превосходит значения, полученные в [14], где максимальные концентрации озона достигнуты в замкнутой камере (без прокачки воздуха) и составляют 1 мг/л. Это достигается за счет большей частоты следования и энергии разрядных импульсов.

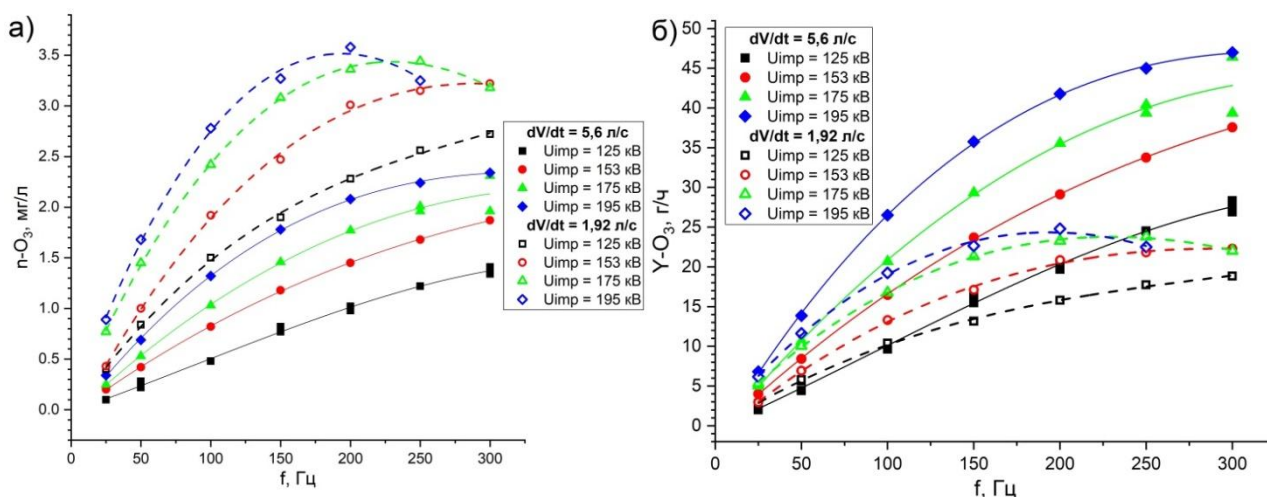


Рис. 5. Зависимость концентрации (а) и выхода (б) озона от частоты следования импульсов в реакторе диаметром 200 мм для скоростей воздухообмена в рабочем объеме 5,6 и 1,9 л/с.

Для сравнения различных озонаторов используем такой параметр, как энергоэффективность (отношение количества полученного газа к величине вложенной энергии), или обратную величину – энерговклад (потребляемая энергия для производства 1 г продукта). Набор типичных зависимостей измеренной концентрации от энерговклада приведен на рис. 6. Из него видно, что для проведенных экспериментов диапазон расхода энергии составляет 6-28 Вт·ч/г, или 36-167 г/кВт·ч, что также превышает результаты, достигнутые в [14] – 132 г/кВт·ч.

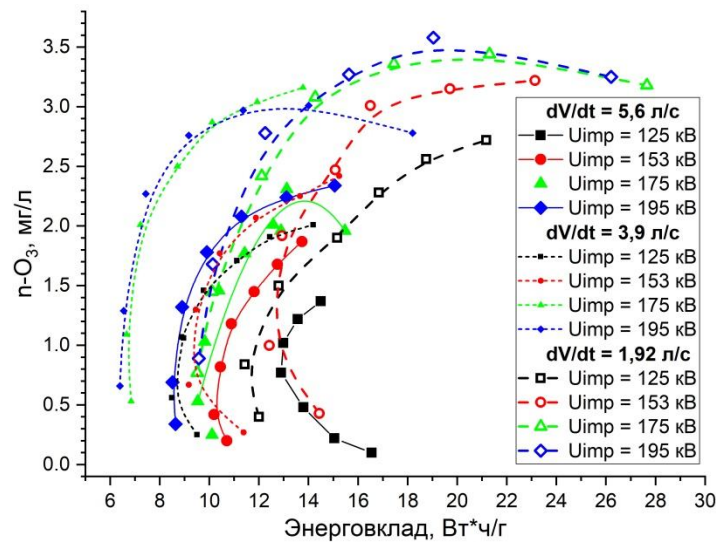


Рис. 6. Зависимость концентрации озона от энерговклада для конфигурации реактора с межэлектродным зазором 85 мм.

Тенденция полученных зависимостей при изменении параметров работы реактора такова, что замедление воздушного потока приводит к более интенсивной обработке молекул воздуха коронными разрядами, в результате чего повышается концентрация. При этом по-другому ведет себя итоговая производительность, которую для удобства будем называть «выход озона», определяемая как

$$Y = 3,6 \cdot \frac{dV}{dt} \cdot s_a \cdot n - O_3, \quad (1)$$

где Y – выход озона (г/ч); dV/dt – измеренная ареометром скорость потока воздуха (м/с); s_a – площадь трубопровода, где установлен ареометр (м²); $n - O_3$ – измеренная концентрация озона (мг/л); коэффициент 3,6 возникает из-за перехода от минут к часам. Кривые частотной зависимости выхода озона демонстрируют качественно другой результат (рис. 5б). На значение выхода существенно влияет скорость потока воздуха, поэтому наилучшими режимами с точки зрения валового выхода газа (55 и 51 г/ч) являются конфигурации реактора с межэлектродным зазором 57,5 мм, при потоке воздуха 5,6 л/с, при максимальных напряжениях высоковольтных импульсов 175 и 195 кВ соответственно.

Таким образом, учитывая вышеописанные результаты, при решении промышленных задач, в зависимости от требований с помощью разработанного

реактора возможно реализовать 2 режима эксплуатации: для достижения потока с максимальной концентрацией озона и для генерации максимального количества газа.

Анализ представленных результатов показывает, что при снижении скорости потока воздуха переход коронного разряда в искровую стадию начинается при меньшей частоте следования импульсов. Т.е. сочетание факторов: величина вложенной энергии, скорость движения частиц, состав газа – приводят к раннему формированию завершенного разряда. В связи с тем, что при текущих возможностях оборудования режим насыщения концентрации озона не достигнут, то одним из способов увеличения производительности озонового генератора является использование более производительной воздуходувки, с большей скоростью прокачиваемого воздуха при повышении частоты следования импульсов высокого напряжения.

Была проанализирована работа генератора при стабилизации электрических параметров, т.е. при определенных амплитудах высоковольтных импульсов. Характерные зависимости для 153 и 175 кВ приведены на рис. 7. Анализ соответствующих зависимостей показывает, что в большинстве случаев частотные характеристики лучше у конфигурации газового реактора с межэлектродным расстоянием 57,5 мм. При этом во внимание принимаются значения, полученные без перехода системы в режим с устойчивыми пробоями. Т.е. такая геометрия электродов оптимальна для формирования стримеров коронного разряда.

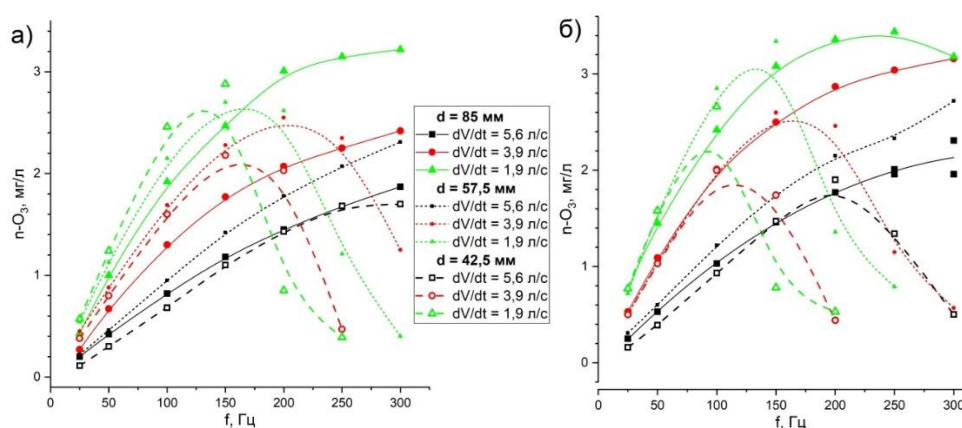


Рис. 7. Частотные зависимости при амплитудах импульсов 153 кВ (а) и 175 кВ (б).

На текущем этапе исследований четкой и понятной зависимости выхода и концентрации озона от напряженности поля не обнаружено. Это связано с тем, что простым расчетам поддается лишь макроскопическая напряженность электрического поля, определяемая как отношение напряжения к величине расстояния, а решающую роль играет микроскопическая напряженность электрического поля у поверхности катода. Ее расчет и анализ планируется в дальнейшем и, вероятно, даст сведения о физике влияния электрических параметров генератора озона на его производительность.

Заключение

В результате проведенных работ, целью которых является разработка озонатора для крупнотоннажного промышленного производства, создана экспериментальная установка для генерации озона наносекундными коронными разрядами в потоке воздуха. Система позволяет измерять концентрацию озона, контролировать скорость потока воздуха через газовый реактор, менять его конфигурацию: варьировать рабочий объем за счет как межэлектродных зазоров, так и длины трубопровода реактора. Также регулируются параметры и электрической части генератора: амплитуда напряжения и частота следования импульсов. Это позволяет проводить широкий спектр исследований по влиянию различных параметров на характеристики генератора озона. Экспериментальная установка обладает большим потенциалом, способна обрабатывать объемы воздуха со скоростью несколько десятков кубических метров в час, при том, что у аналогов в [9, 11-13] скорости потока газа составляют лишь 0,06 – 2,5 м³/ч.

Проведенный комплекс измерений является начальным этапом большого цикла исследований. Но уже на этой стадии полученные результаты и анализ данных позволяет сделать вывод о возможности эксплуатации генератора озона на коронном разряде в 2 режимах в зависимости от требуемой задачи: для получения газа с максимальной концентрацией озона либо производство максимального количества трехатомного кислорода.

Проведенные исследования показывают, что наиболее эффективные режимы работы достигаются на среднем из выбранных межэлектродных зазоров.

Это вероятнее всего связано с оптимальным значением напряженности электрического поля для формирования стримеров коронного разряда, не переходящих в искровую стадию. Наилучшими достигнутыми значениями являются концентрация 3,6 мг/л и производительность на уровне 55 г/ч.

Дальнейшие работы будут направлены на повышение эффективности разработанного генератора, в том числе за счет увеличения скорости прокачки воздуха и повышения частоты следования высоковольтных импульсов. Это позволит получить большие концентрации озона, не доводя систему до возникновения искровых разрядов.

Литература

1. Крылова Л.Н. Эффективность применения озона для извлечения металлов из минерального сырья // Известия вузов. Цветная металлургия. – 2022. – Т. 28. – №. 2. – С. 4-15. <https://doi.org/10.17073/0021-3438-2022-2-4-15>
2. В.В. Лунин, М.П. Попович, С.Н. Ткаченко. Физическая химия озона. – М: Изд-во МГУ, 1998. – 480 с.
3. Morfill G.E. et al. Nosocomial infections – a new approach towards preventive medicine using plasmas // New Journal of Physics. – 2009. – Т. 11. – №. 11. – С. 115019. <https://doi.org/10.1088/1367-2630/11/11/115019>
4. Shimizu T., Zimmermann J.L., Morfill G.E. The bactericidal effect of surface micro-discharge plasma under different ambient conditions // New Journal of Physics. – 2011. – Т.13. – №.2. – С.023026. <https://doi.org/10.1088/1367-2630/13/2/023026>
5. Pavlovich M.J. et al. Effect of discharge parameters and surface characteristics on ambient-gas plasma disinfection // Plasma Processes and Polymers. – 2013. – Т. 10. – №. 1. – С. 69-76. <https://doi.org/10.1002/ppap.201200073>
6. Traylor M.J. et al. Long-term antibacterial efficacy of air plasma-activated water // Journal of Physics D: Applied Physics. – 2011. – Т. 44. – №. 47. – С. 472001. <https://doi.org/10.1088/0022-3727/48/49/494002>

7. Филиппов Ю.В., Вобликова В.А., Пантелеев В.И. Электросинтез озона. – МГУ, 1987.
8. Самойлович В.Г., Гибалов В.И., Козлов К.В. Физическая химия барьерного разряда. 1989 // Изд. Моск. ун-та. – 1989.
9. Sung T.L. et al. Effect of pulse power characteristics and gas flow rate on ozone production in a cylindrical dielectric barrier discharge ozonizer // Vacuum. – 2013. – Т. 90. – С. 65-69. <https://doi.org/10.1016/j.vacuum.2012.10.003>
10. Burleson G.R., Murray T.M., Pollard M. Inactivation of viruses and bacteria by ozone, with and without sonication // Applied microbiology. – 1975. – Т. 29. – №. 3. – С. 340-344. <https://doi.org/10.1128/am.29.3.340-344.1975>
11. Fukawa F. et al. Application of nanosecond pulsed power to ozone production by streamer corona // IEEE transactions on plasma science. – 2008. – Т. 36. – №. 5. – С. 2592-2597. <https://doi.org/10.1109/TPS.2008.2004372>
12. Pokryvailo A., Wolf M., Yankelevich Y. Investigation of operational regimes of a high-power pulsed corona source with an all-solid state pulser // IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. – 2007. – Т. 14. – №. 4. – С. 846-857. <https://doi.org/10.1109/TDEI.2007.4286515>
13. Yuan D. et al. Ozone production with dielectric barrier discharge from air: The influence of pulse polarity // Ozone: Science & Engineering. – 2018. – Т. 40. – №. 6. – С. 494-502. <https://doi.org/10.1080/01919512.2018.1476127>
14. Филатов И.Е., Сурков Ю.С., Кузнецов Д.Л. Влияние параметров разрядной камеры на эффективность наработки озона импульсным коронным разрядом // Письма в Журнал технической физики. – 2022. – Т. 48. – №. 13. – С. 28-32. <https://doi.org/10.21883/PJTF.2022.13.52741.19210>
15. Mennad B. et al. Theoretical investigation of ozone production in negative corona discharge // Current Applied Physics. – 2010. – Т. 10. – №. 6. – С. 1391-1401. <https://doi.org/10.1016/j.cap.2010.04.013>

16. Корженевский С.Р. Регулировка выходного напряжения импульсного высоковольтного наносекундного генератора с индуктивным накопителем энергии и твердотельной системой коммутации / Корженевский С.Р., Комарский А.А., Чепусов А.С., Бессонова В.А., Титов В.Н. // Приборы и техника эксперимента. Электроника и радиотехника. – 2017. – №1. – С. 52 – 55. <https://doi.org/10.7868/S0032816217010219>
17. Васильев П.В. и др. Работа полупроводникового прерывателя при микросекундном времени накачки и низкой плотности тока // Физика и техника полупроводников. – 2009. – Т. 43. – №. 7. – С. 985.

Для цитирования:

Чепусов А.С., Корженевский С.Р., Комарский А.А., Пономарев А.В., Красный О.Д. Генератор озона на основе импульсного коронного разряда // Журнал радиоэлектроники. – 2025. – №. 11. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2025.11.17>